

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БУРИМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МГ «СИЛА СИБИРИ»

Пелипенко Николай Андреевич – д.т.н., профессор, кафедра прикладной геологии и горного дела Белгородского государственного национального исследовательского университета, [relipenkona@mail.ru](mailto:relipenkona@mail.ru)

Процук Иван Сергеевич – аспирант Белгородского государственного национального исследовательского университета, инспектор-геолог ООО «ИГИИС», [geolog\\_ivan@mail.ru](mailto:geolog_ivan@mail.ru)

Бакланов Руслан Романович – аспирант Белгородского государственного национального исследовательского университета, [blackdoom@mail.ru](mailto:blackdoom@mail.ru)

*Ключевые слова:* инженерно-геологические изыскания, буримость, скорость бурения, размах вариации, среднее линейное отклонение, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации.

*В исследовании рассматривается задача статистического моделирования показателей буримости горных пород при бурении инженерно-геологических скважин. Проведен сравнительный анализ скорости проходки скважин в зависимости от категории буримости породы. По каждой из исследуемых категорий пород рассчитаны основные статистические показатели, которые помогут оптимизировать процесс бурения.*

## STATISTICAL INVESTIGATION OF THE INDICATORS OF MOUNTAIN ROCKS IN THE CONSTRUCTION OF MG "FORCE SIBERIA"

Pelipenko N.A. – Doctor of Technical Science, Professor, Department of Applied Geology and Mining, Belgorod National Research University, [relipenkona@mail.ru](mailto:relipenkona@mail.ru)

Protsuk I.S. – post-graduate student, Belgorod National Research University, Geological Inspector of the LLC IGIIIS, [geolog\\_ivan@mail.ru](mailto:geolog_ivan@mail.ru)

Baklanov R.R. – post-graduate student, Belgorod National Research University, [blackdoom@mail.ru](mailto:blackdoom@mail.ru)

*Key words:* engineering-geological survey, drillability, drilling speed, range of variation, mean linear deviation, dispersion, root-mean-square deviation, coefficient of variation.

*The study deals with the problem of statistical modeling of the rock drillability indicators while drilling engineering and geological wells. A comparative analysis of the rate of drilling is performed depending on the category of rock drillability. For each of the studied categories of rocks, the main statistical indicators are calculated, which will help to optimize the drilling process.*

Статистическое исследование показателей буримости горных пород во время проведения инженерно-геологических изысканий при строительстве МГ «Сила Сибири» дает фактическую базу для установления общих закономерностей, которые невозможно выявить другими методами.

Цель статистического исследования состоит в том, чтобы выявить закономерности распределения ко-

личественных показателей, характеризующих основные показатели бурения.

Статистическим исследованием был охвачен круг вопросов, представляющих интерес не только для инженерных расчетов, связанных с бурением инженерно-геологических скважин, но и для других смежных областей, таких как экономика и производственное планирование.

В данной работе статистическое исследование выступает как общая часть исследования, направленного на повышение производительности процессов бурения. Статистическое исследование позволило выявить наиболее общие количественные характеристики буримости и подтвердить теоретические построения. Необходимость четкого разграничения количественных показателей, подлежащих выявлению, вызвана тем, что часть информации может быть утрачена или ошибочно отнесена, прямо или косвенно, к другому показателю. В связи с этим необходимо решить такие вопросы, как ограничение объекта исследования, чтобы в выборку не попали параметры буримости, не принадлежащие к определенной категории пород по буримости.

С другой стороны, необходимо определить показатель, подлежащий наблюдению и фиксированию, чтобы не было различного толкования тех или иных признаков.

Статистические исследования проводились на одном из участков строительства магистрального газопровода «Сила Сибири», расположенном в Тындинском районе Амурской области. Для представления полной картины статистического моделирования приведена краткая инженерно-геологическая характеристика исследуемых горных пород.

Геоструктурно исследуемая территория расположена в южной зоне Монголо-Охотского складчатого региона в пределах новейшей структуры первого порядка Амуро-Зейской наложенной впадины, построенной новейшими структурами второго порядка, такими как Амуро-Зейское плато.

Коренные породы представлены терригенными песчаниками юрского возраста (J1–3) с различной степенью метаморфизма, эффузивными породами мезозойского возраста –

Таблица 1 – Статистические показатели скоростей проходки инженерно-геологических скважин

| Показатели                                | Категории буримости, м/мин |        |        |        |          |          |
|---|----------------------------|--------|--------|--------|----------|----------|
|   | III                        | IV     | V      | VI     | VII      | VIII     |
| Максимум                                  | 0.4                        | 1      | 0.4    | 0.12   | 0.078    | 0.055    |
| Минимум                                   | 0.03                       | 0.021  | 0.03   | 0.015  | 0.015    | 0.027    |
| Размах вариации                           | 0.37                       | 0.979  | 0.37   | 0.105  | 0.063    | 0.028    |
| Среднее линейное отклонение               | 0.0808                     | 0.1243 | 0.0325 | 0.0207 | 0.0136   | 0.0066   |
| Дисперсия по генеральной совокупности     | 0.0102                     | 0.0330 | 0.0026 | 0.0007 | 0.000272 | 0.000062 |
| Дисперсия по выборке                      | 0.0110                     | 0.0335 | 0.0027 | 0.0007 | 0.000291 | 0.000068 |
| Среднеквадратичное отклонение генеральное | 0.1011                     | 0.1817 | 0.0513 | 0.0260 | 0.0165   | 0.00787  |
| Среднеквадратичное отклонение по выборке  | 0.1049                     | 0.1831 | 0.0516 | 0.0265 | 0.0171   | 0.00822  |
| Коэффициент вариации                      | 0.55                       | 0.84   | 0.57   | 0.47   | 0.39     | 0.20     |
| Мода                                      | 0.17                       | 0.2    | 0.088  | 0.04   | 0.036    | 0.046    |
| Медиана                                   | 0.18                       | 0.167  | 0.084  | 0.05   | 0.041    | 0.041    |
| Математическое ожидание                   | 0.19                       | 0.22   | 0.09   | 0.06   | 0.04     | 0.04     |

андезиты, интрузиями диоритов познеюрского-раннемелового возраста (J3 – K1).

С поверхности скальные породы повсеместно перекрыты почти сплошным чехлом нескальных образований четвертичного возраста мощностью 0.1-10.0 м и более.

Выделяются следующие основные генетические типы четвертичных отложений: элювиальные и делювиальные отложения, представленные щебенистыми и дресвяными грунтами, щебнем с глинистым заполнителем (10-45%), с единичными глыбами, а также суглинками

дресвяными или с включением дресвы и щебня до 25%; аллювиальные, представленные преимущественно глинами и суглинками с примесью органики, с единичным включением дресвы и щебня, участками с песками средней крупности и галечниками мощностью до 6.5 м, участками перекрытые озерно-болотными отложениями (суглинками и глинами с примесью органических веществ); элювиальные, сложенные крупнообломочными, глинистыми грунтами на андезитах, и биогенные, представленные торфом.

По данным геокриологических условий исследуемый район располагается у южной границы зоны распространения многолетнемерзлых пород. В мелкомасштабном плане мерзлые породы региона относятся к островному типу распространения – занимают менее 20% площади.

Из опасных инженерно-геологических процессов и явлений на участке изысканий отмечены следующие: выветривание, сезонное промерзание и пучение грунтов, наледи, эрозионные процессы, болота и заболачивание, подтопление.

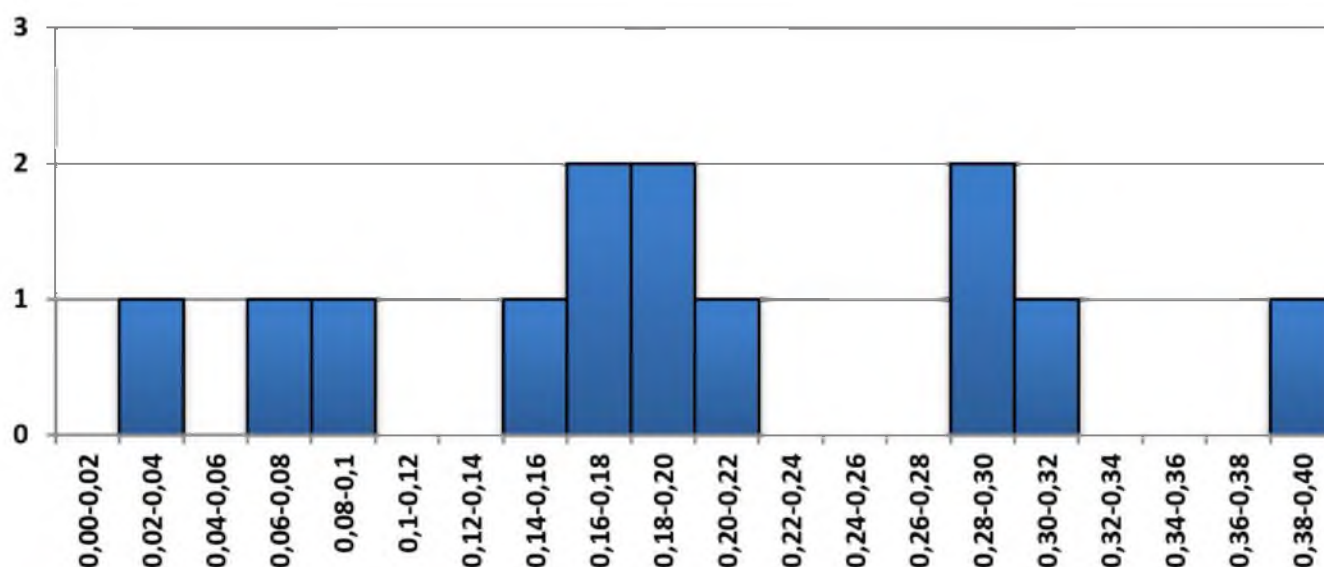


Рис. 1 – Скорость проходки пород III категории буримости, м/мин

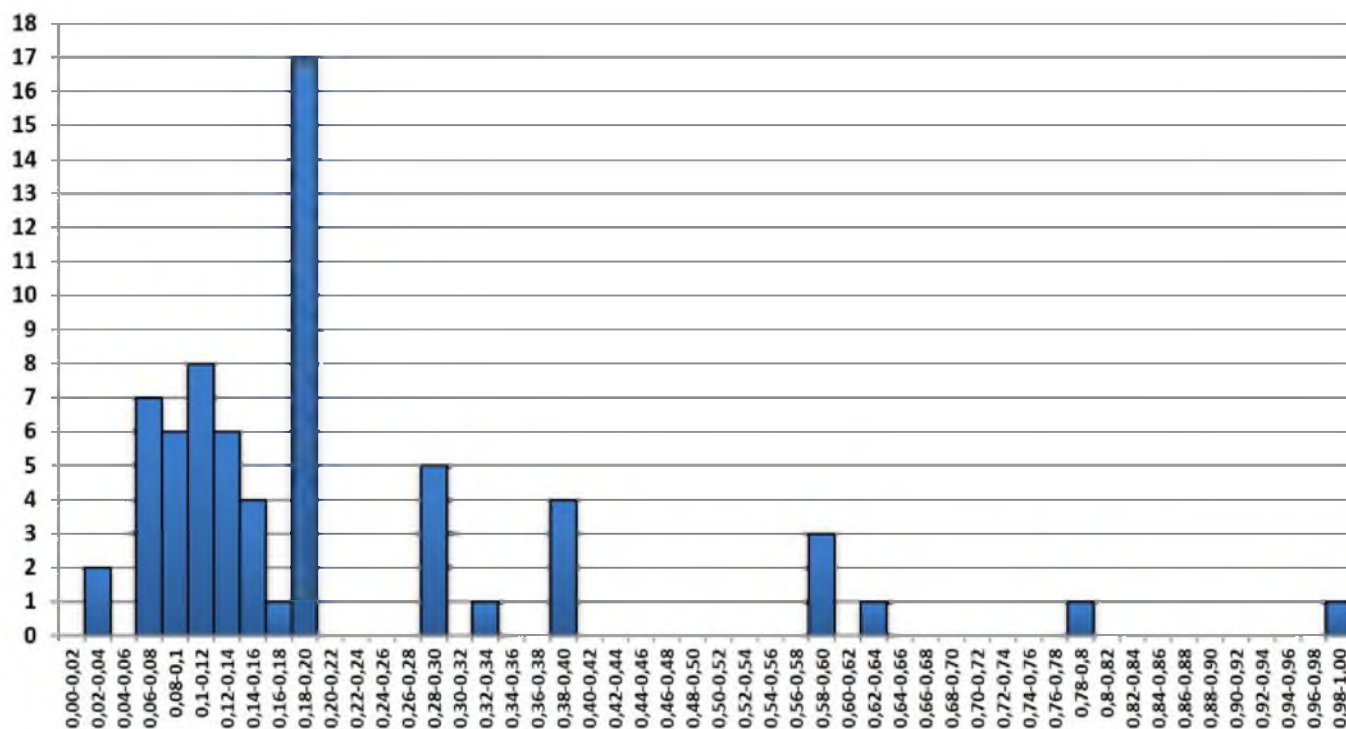


Рис. 2 — Скорость проходки пород IV категории буримости, м/мин

Бурение скважин выполнялось механическим колонковым способом всухую или с продувкой диаметром бурения 112 мм и 151 мм как наиболее точным и информативным способом бурения.

Статистическое исследование проводилось выборочным методом, т.е. обследованию подверглось 90

инженерно-геологических скважин, размещённых по оси трасс из расчета, в среднем, через 500 м. При размещении скважин учитывались участки переходов через временные и постоянные водотоки [1].

Исследование параметров буримости инженерно-геологических скважин в производственных

условиях позволило получить достоверную информацию, характеризующую распределение объективных показателей. Для получения достоверных оценок большинства количественных показателей этот метод является единственным, а для остальных — наиболее приемлемым, так как получение анало-

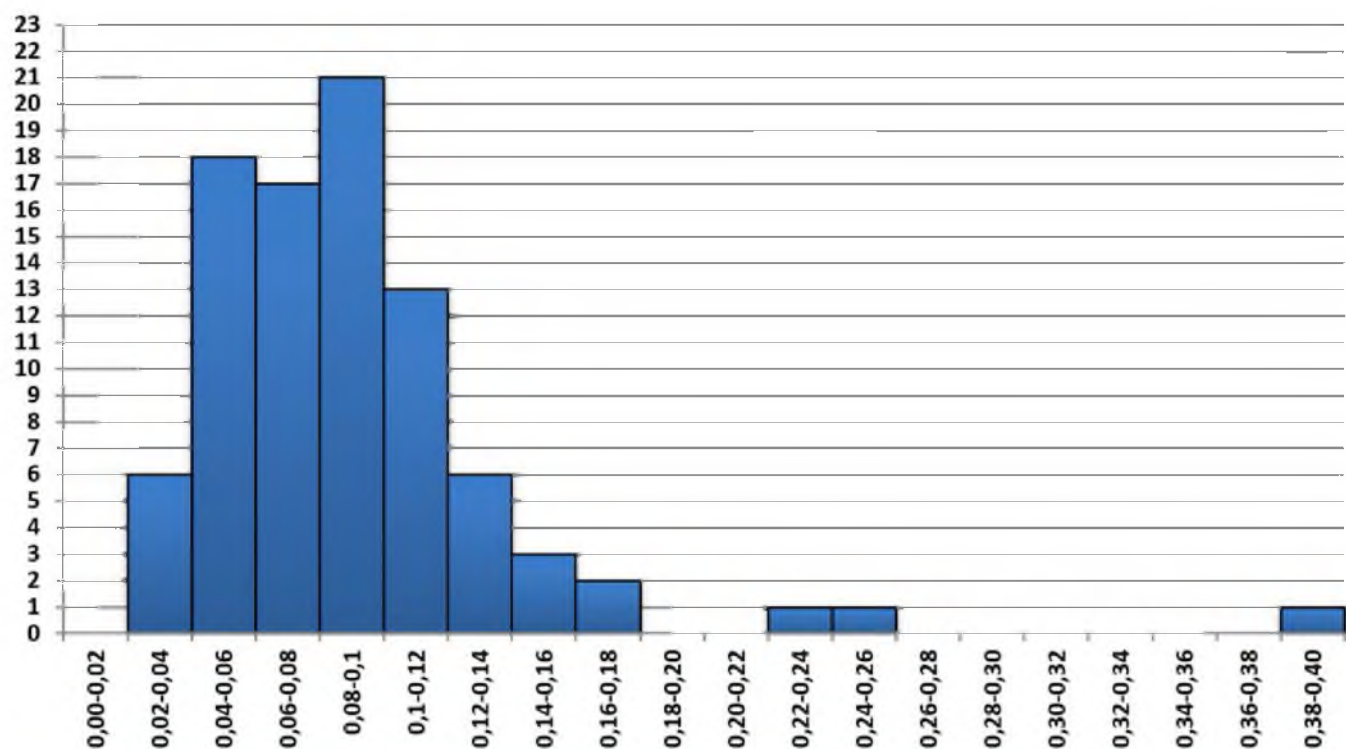


Рис. 3 — Скорость проходки пород V категории буримости, м/мин



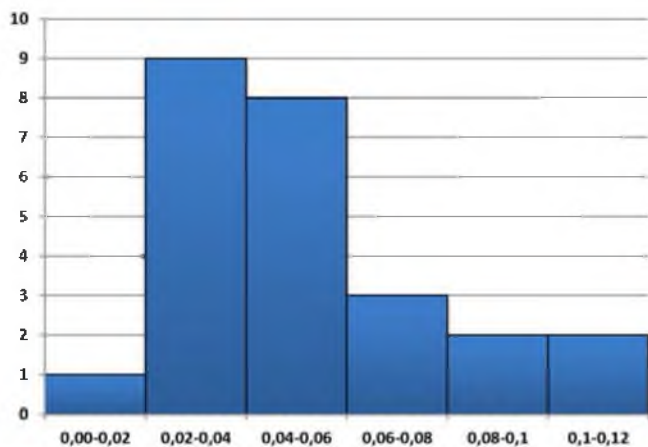


Рис. 4 – Скорость проходки пород VI категории буримости, м/мин

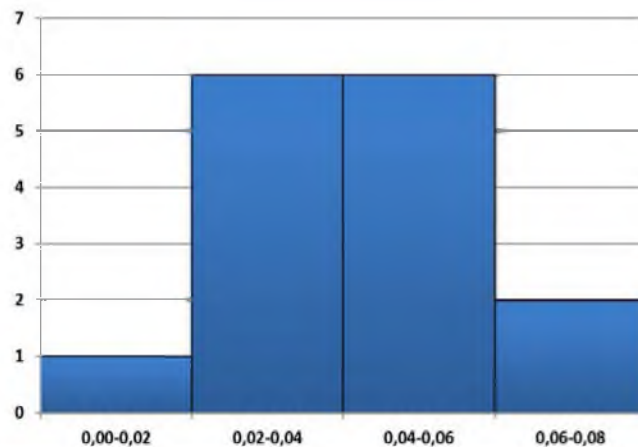


Рис. 5 – Скорость проходки пород VII категории буримости, м/мин

гичных результатов в лабораторных условиях представляется практически невозможным из-за большого объема и длительности испытаний [2-7].

Инженерно-геологические скважины, подлежащие статистическому исследованию, т.е. скважины, входящие в т.н. выборку генеральной совокупности, должны соответствовать следующим требованиям:

1. Буровые работы должны быть выполнены согласно программе инженерных изысканий;
2. Глубина скважин не менее 5 метров;
3. Учет скорости проходки ведется с момента начала бурения до подъема бурового снаряда, т.е. учитывается только чистое время бурения;
4. Проводится фиксация времени проходки определенного инженерно-геологического элемента во время бурения скважины.

Достоверность результатов статистического исследования параметров бурения обусловлена ошибками двух видов: а) ошибками выборок, т.е. ошибками, связанными с недостаточным количеством или качеством входящих единиц; б) ошибками наблюдения, т.е. невозможностью определения категории буримости породы, ложными предположениями в определении времени бурения [8-11]. Объем и структура выборки зависит от возможностей,

которыми обладает исследователь. К ним можно отнести сумму денежных средств, привлеченных для проведения статистического исследования, время, выделенное для проведения наблюдения, действительное количество людей, привлеченное к исследованию [12-14].

Кроме того, имеет большое значение пространственный или географический фактор, характеризующий сосредоточенность или линейное расположение инженерно-геологических скважин вдоль оси проектируемого газопровода. С увеличением выборки уменьшается вероятность ошибок, связанных с её структурой. Сокращение времени исследования ограничивается возрастом вероятности ошибок наблюдения. Составление подходящей выборки и приемлемой длительности наблюдения является типичной задачей на максимум-минимум, т.е. стремлением получить максимальную информацию при минимальных затратах.

В рамках данного статистического исследования авторами была выполнена работа по расчету основных статистических показателей: максимум, минимум, размах вариации, среднее линейное отклонение, дисперсия по генеральной совокупности и выборке, среднеквадратичное отклонение генеральное и по выборке, коэффициент вариации [15-18]. В качестве основного инструмента для проведения расчетов был выбран табличный процессор Microsoft Excel. Данный выбор обоснован тем, что с помощью данной программы возможно выполнение сложных расчетов с минимальными затратами времени, насколько это возможно.

В качестве исходных данных для расчетов были использованы 90 актов пооперационного хронометража работ по механическому инженерно-геологическому бурению скважин. В актах указаны проходки рейсов с указанием интервала категории грунта по буримости и диа-

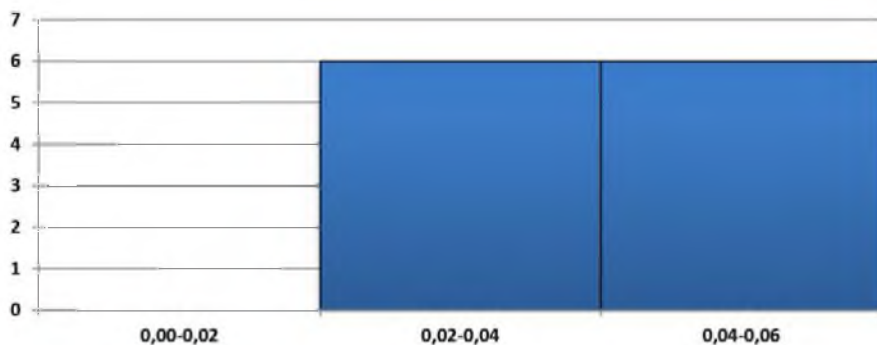


Рис. 6 – Скорость проходки пород VIII категории буримости, м/мин

метра буровой коронки. На основе полученных данных была решена обратная задача по определению скорости проходки, которая заключается в отношении интервала грунта определенной категории буримости ко времени проходки этого интервала.

Математическая обработка вариационного ряда изменения скоростей проходки инженерно-геологических скважин позволила получить статистические данные (таблица 1).

Гистограммы являются наиболее наглядным способом представления данных. По оси *x* откладываются значения эталонной скорости бурения, по оси *y* — количество фиксаций эталонной скорости бурения. Данные по скорости проходки каждой категории буримости были сгруппированы с интервалом 0.02 м/мин.

#### Выводы:

1. Статистические исследования являются информативным методом для определения наиболее общих закономерностей, учитываемых в инженерно-геологической практике.

2. Выявленные закономерности в виде статистических показателей могут быть использованы для совершенствования буровых машин и инструментов.

3. Информация, дополняющая статистические исследования, должна касаться в первую очередь разработки технологий, направленных на повышение производительности труда и сокращение затрат времени на инженерно-геологические изыскания.

4. Следует обратить внимание создателей машин на механизацию работ при выполнении подготовительно-заключительных операций для бурения инженерно-геологических скважин.

5. Полученные результаты статистических исследований могут быть полезны для инженеров и научных работников. ■

#### Список литературы

1. СП 11-105-97, часть IV.
2. Бондаренко В.Н. Статистические решения некоторых задач геологии. М.: Недра, 1970.
3. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы: Учеб. М.: Финансы и статистика, 1998. 352 с.
4. Дубровская Л.И., Князев Г. Б. Компьютерная обработка естественно-научных данных методами многомерной прикладной статистики: Учебное пособие. - Томск: ТМЛ-Пресс, 2011, - 120 с.
5. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии / Пер. с англ. В.А. Голубевой; Под ред. Д.А. Родионова. М.: Недра, 1990. Кн. 2. 427 с.
6. Wackernagel H. 1995. Multivariate Geostatistics, Springer, Berlin, 256 p.
7. Matheron G. 1973. The intrinsic random functions and their applications. Adv. In applied Prob. Vol. 5, pp 439 — 468
8. Елисеєва И.И. Общая теория статистики: Учебник для вузов. — М.: Финансы и статистика, 2006.
9. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии. М.: Недра, 1990. 250 с.
10. Статистика: Учебник / Под ред. проф. В. М. Симчеры. — М.: Финансы и статистика, 2005.
11. Cressie N. 1984. Towards resistant geostatistics. - Geostatistics for natural resources characterisation. Dordrecht, p. 21-44.
12. Изченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1992. 304 с.
13. Статистика: Учебник / А. М. Годин. — 9-е изд., перераб. и испр. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2011. — 460 с.
14. Armstrong M. 1998. Basic Linear Geostatistics. Springer — Verlag. Berlin. 152 p.
15. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика, СПб, Недра, 424 с., 2002.
16. Михайлов Г.А., Войтишек А.В. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло Учебное пособие для студентов вузов. — М.: Академия, 2006. — 368 с. — (Прикладная математика и информатика).
17. Armstrong M. 1984. Common problems seen in variograms. — Mathematical Geology, V.16, N.3, p.305-313.
18. Journé A.G. 1989. Non-parametric estimation of spatial distributions. Journal of the Intern.Assoc.of Mathematical Geology, Vol 1, No.3, pp. 445-468.

#### References

1. Set of rules 11-105-97, part IV.
2. Bondarenko V.N. Statistical solutions of some problems of geology. M.: Nedra, 1970.
3. Dubrov A.M., Mkhitarayan V.C., Troshin L.I. Multidimensional Statistical Methods: Moscow: Finance and Statistics, 1998. 352 p.
4. Dubrovskaya L.I., Knyazev G.B. Computer processing of natural scientific data using multidimensional applied statistics: Textbook. - Tomsk: TML-Press, 2011, - 120 p.
5. Davis J.S. Statistical analysis of data in geology / Trans. with English. V.A. Golubevov; Ed. YES. Rodionov. M.: Nedra, 1990. The book. 2. 427 sec.
6. Wackernagel H. 1995. Multivariate Geostatistics, Springer, Berlin, 256 p.
7. Matheron G. 1973. The intrinsic random functions and their applications. Adv. In applied Prob. Vol. 5, pp 439 — 468.
8. Eliseeva I.I. General theory of statistics: A textbook for high schools. - Moscow: Finances and Statistics, 2006.
9. Kazhdan A.B., Guskov O.I. Mathematical methods in geology. M.: Nedra, 1990. 250 p.
10. Statistics: Textbook / Ed. prof. V.M. Simchey. - Moscow: Finance and Statistics, 2005.
11. Cressie N. 1984. Towards resistant geostatistics. - Geostatistics for natural resources characterisation. Dordrecht, p. 21-44.
12. Ivchenko G.I., Medvedev Yu.I. Mathematical Statistics: Proc. allowance for technical colleges. Moscow: Higher School, 1992. 304 p.
13. Statistics: Textbook / A.M. Godin. - 9th ed., Pererab. and corrected. - M.: Publishing and Trading Corporation "Dashkov and Co.", 2011. - 460 p.
14. Armstrong M. 1998. Basic Linear Geostatistics. Springer — Verlag. Berlin. 152 p.
15. Kaputin Yu.E. Mountain computer technologies and geostatistics, St. Petersburg, Nedra, 424 pp., 2002.
16. Mikhailov G.A., Voitseks A.V. Numerical statistical modeling. Monte Carlo methods A manual for university students. - Moscow: Academy, 2006. - 368 p. - (Applied Mathematics and Informatics).
17. Armstrong M. 1984. Common problems seen in variograms. — Mathematical Geology, V.16, N.3, p.305-313.
18. Journé A.G. 1989. Non-parametric estimation of spatial distributions. Journal of the Intern.Assoc.of Mathematical Geology, Vol 1, No.3, pp. 445-468.